
MOBILEGEN

1. Principio di funzionamento del MobileGen

- 1.1. *Struttura del MobileGen*
- 1.2. *Processo di conversione energetica*
- 1.3. *Sensoristica*
- 1.4. *La manovra del kite*

2. Sistema di controllo intelligente e di alimentazione

- 2.1. *Manovra automatica del kite*
- 2.2. *Azionamento moduli di guida*
- 2.3. *Eventi improvvisi*
- 2.4. *Sistema di alimentazione*

Appendice 1 - Stato dell'arte

Appendice 2 - Lift force e drag force

Introduzione

MobileGen è un generatore trasportabile da 40 kW di punta, realizzato nell'estate del 2006; si tratta del primo prototipo previsto nel corso del progetto KiteGen.

Nella progettazione del MobileGen - la cui parte meccanica è stata realizzata da Ce.S.I. - è stato previsto un generatore in cui l'ingombro dei componenti posti a terra fosse limitato a tal punto da rendere possibile il trasporto del generatore mediante, ad esempio, un comune automezzo. Questa potenzialità rappresenta un vantaggio rispetto al presente stato della tecnica.

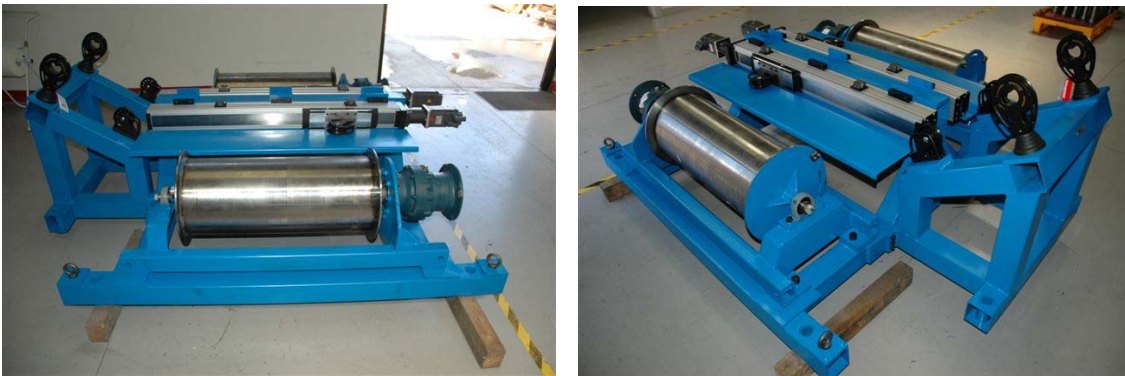


Figure 1 e 2: parte meccanica del MobileGen realizzata da Ce.S.I.

Attualmente infatti la produzione di corrente a partire dall'energia eolica avviene all'interno di impianti per mezzo di dispositivi non mobili. Ai fini dello sfruttamento di questa energia rinnovabile non esistono dunque dispositivi trasportabili tramite i quali sia possibile produrre corrente in qualsiasi luogo in cui vi sia vento.

Una simile potenzialità offre enormi vantaggi nei contesti in cui la produzione di corrente avviene oggi esclusivamente mediante i gruppi di continuità (motogeneratori a combustibile), come ad esempio negli ospedali da campo. In queste situazioni, il dispositivo ideato consente la produzione di corrente a partire da una fonte energetica rinnovabile, senza dipendere da rifornimenti di combustibile fossile.

1. Principio di funzionamento del MobileGen

1.1. Struttura del MobileGen



Figura 3: prime prove del MobileGen a Cogne (AO) - agosto 2006

Il MobileGen è composto da un profilo alare di potenza connesso a una piattaforma base mediante due funi ad alta resistenza in trazione. In corrispondenza di tale piattaforma, ciascuna fune è avvolta su un verricello che aziona, attraverso un riduttore, un generatore che funge anche da motore. In corrispondenza di ciascun verricello vi è un modulo di guida che obbliga la fune ad un avvolgimento ordinato sul verricello e una serie di bozzelli che guidano la fune verso il profilo alare. Il kite è manovrato srotolando e riavvolgendo le funi sui verricelli.

La base del dispositivo è composta dunque dalla piattaforma su cui sono montati i verricelli, i generatori/motori e un sistema di controllo intelligente che provvede a manovrare il kite.

1.2. Processo di conversione energetica

Il processo di conversione energetica messo in atto dal MobileGen è una procedura intermittente che può essere scomposta in tre fasi (vedi Figura 4).

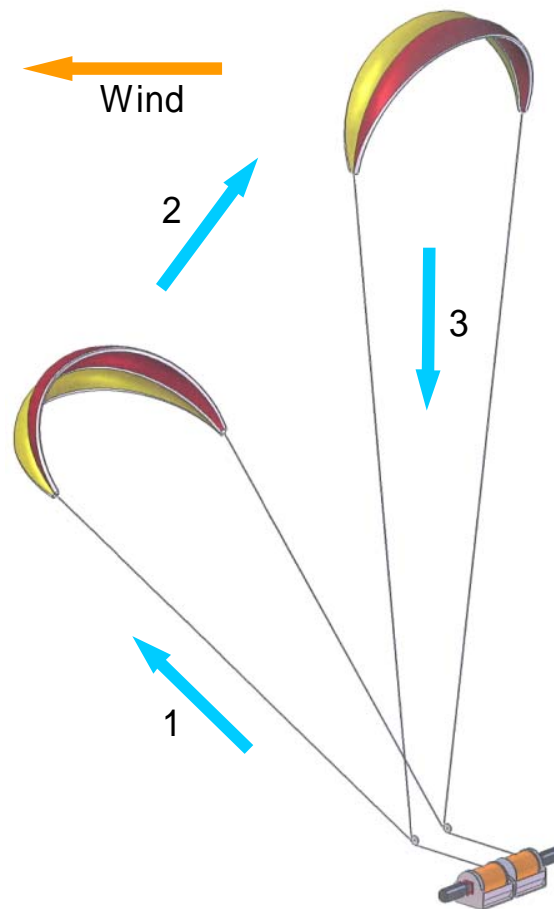


Figura 4: Principio di funzionamento del MobileGen

Durante la prima fase (1) il vento solleva il kite mettendo in tensione le funi di connessione alla piattaforma base. Questa trazione è convertita in rotazione a livello dei verricelli e trasmessa per mezzo del riduttore al generatore ove, vincendo la coppia di forze da esso opposta, avviene la produzione di energia elettrica. Il percorso di volo del profilo alare durante questa fase è tale per cui sia massima l'energia meccanica che è possibile sottrarre al vento. In particolare, il sistema di controllo intelligente manovra il kite in modo da sfruttare la lift force, ossia la componente della forza perpendicolare alla velocità del vento. In tal modo il profilo ascende continuando a spazzolare la superficie del fronte vento.

La seconda fase del processo (2) consiste nella manovra automatica del kite in modo da raggiungere una posizione di quasi stallo in corrispondenza della quale la spinta eolica è scarsa.

Durante la terza fase del processo (3) avviene il riavvolgimento delle funi sui verricelli per mezzo dei generatori che fungono anche da motori. Le funi sono riavvolte con un minimo consumo energetico e, terminato il recupero delle funi, il kite è posizionato in modo da tornare in una condizione di massima trazione. A questo punto, il ciclo si ripete.

L'energia generata durante lo srotolamento delle funi è superiore a quella spesa per il loro riavvolgimento. Il bilancio energetico è dunque positivo.

1.3. Sensoristica

In corrispondenza del kite è posto un set di sensori ad alimentazione autonoma che, in modalità wireless, invia informazioni al sistema di controllo a terra. Il sistema integra queste informazioni con i dati provenienti dalla sensoristica di terra (ad esempio il valore del carico delle funi determinato dalla lettura della coppia del motore) ed effettua elaborazioni per manovrare automaticamente il kite durante l'intero ciclo di funzionamento.

1.4. La manovra del kite

La manovra del profilo alare avviene regolando lo srotolamento e il riavvolgimento delle funi sugli stessi verricelli tramite i quali si ha produzione di energia. Le funi che connettono il kite alla piattaforma base sono dunque sia funi di potenza che funi di manovra.

La generazione di energia dipende esclusivamente dal senso di rotazione dei tamburi dei verricelli. Si ha produzione di elettricità quando la rotazione dei tamburi è determinata dalle funi e aziona i generatori. Si ha consumo di energia quando la rotazione dei tamburi è determinata dai motori e consente il riavvolgimento delle funi.

La manovra del profilo alare dipende sia dal senso che dalla velocità di rotazione dei tamburi dei verricelli. Il kite è infatti manovrato modificando in modo opportuno l'angolo di attacco del vento. Tale angolo dipende dalla posizione relativa del kite rispetto alla velocità del vento e dunque dalla lunghezza di ciascuno dei due tratti di fune srotolata. Se, ad esempio, per far assumere al profilo alare una determinata inclinazione bisogna accorciare un tratto di fune srotolato rispetto all'altro, per ottenere tale risultato bisognerà accelerare o rallentare la rotazione di un tamburo rispetto all'altro. Senza dunque compromettere la generazione di energia o il recupero del kite, la manovra del profilo alare avviene differenziando la velocità di rotazione dei due verricelli.

2. Sistema di controllo intelligente e di alimentazione

Il sistema di controllo intelligente è il sistema mediante il quale il kite è manovrato in modo automatico. Il compito principale di questo componente consiste nel comandare il funzionamento dei generatori/motori e conseguentemente la rotazione dei verricelli.

2.1. Manovra automatica del kite

Il controllo automatico del volo del profilo alare è effettuato per mezzo di algoritmi di controllo predittivo tramite i quali il kite è manovrato in modo da evitare oscillazioni, instabilità di manovra e massimi locali di trazione. Il percorso descritto dal profilo alare è predetto al fine di ottimizzare l'energia prodotta durante un ciclo di funzionamento nel massimo della sicurezza, nel massimo rispetto delle specifiche dinamiche e minimizzando il tempo necessario per andare dalla posizione attuale a quella predetta.

2.2. Azionamento moduli di guida

Il sistema provvede all'azionamento dei moduli di guida delle funi. I motori che azionano tali moduli sono comandati in modo da accoppiare opportunamente la rotazione dei tamburi dei verricelli con la traslazione dei pattini dei moduli di guida. È dunque per mezzo del sistema di controllo intelligente che la velocità e il verso di traslazione dei carrelli sono regolate in modo da obbligare le funi ad un avvolgimento ordinato sui verricelli e impedire lo strisciamento tra le funi e le guance dei verricelli e tra le funi stesse.

2.3. Eventi improvvisi

Il sistema di controllo intelligente deve riconoscere e far fronte con la massima tempestività a eventi improvvisi quali colpi di vento e cadute di carico. In caso di colpi di vento, il sistema di controllo interviene riducendo la tensione delle funi per evitare che il carico eccessivo danneggi il dispositivo. Ciò avviene azionando i verricelli in modo da consentire un rapido srotolamento delle funi. Le diminuzioni improvvise di carico vanno evitate in quanto una scarsa tensione sulle funi fa precipitare il kite senza possibilità di manovra. In caso si verifichi una diminuzione di carico, il sistema di controllo intelligente interviene accelerando la rotazione dei verricelli (nel caso in cui l'evento si verifichi durante il riavvolgimento) oppure invertendone il senso di rotazione (se la caduta di carico ha luogo durante lo srotolamento). In tal modo, il controllo del profilo alare è recuperato.

2.4. Sistema di alimentazione

Il sistema di alimentazione comprende tutti i componenti necessari all'accumulazione e all'erogazione dell'energia elettrica. Il MobileGen deve essere dotato di alimentatori, trasformatori e accumulatori mediante i quali immagazzinare l'elettricità prodotta durante lo srotolamento, erogare corrente al motore durante il recupero del profilo alare, alimentare i componenti elettronici del dispositivo e fornire potenza elettrica ad utilizzatori esterni. Il funzionamento di tutti i componenti elettronici del MobileGen è comandato dal sistema di controllo intelligente.

Appendice 1 - STATO DELL'ARTE

1. Impiego di profili alari di potenza

Nessun progetto relativo all'impiego di un profilo alare di potenza per catturare le correnti eoliche ha previsto la realizzazione di un prototipo che effettivamente consenta di applicare il processo studiato e in nessun progetto sono stati affrontati nel dettaglio i problemi relativi al sistema di controllo. Inoltre, le ricerche attuali sono perlopiù focalizzate sull'incremento della produttività dei sistemi già esistenti anziché sullo sviluppo di nuovi sistemi di produzione.

2. Limiti riscontrabili nello stato della tecnica attuale

Nello stato della tecnica esistente, i componenti meccanici di manovra del kite sono distinti da quelli di generazione di potenza. I profili alari sono manovrati mediante meccanismi installati direttamente sul kite oppure tramite funi ausiliarie il cui srotolamento e riavvolgimento avviene per mezzo di argani distinti da quelli impiegati per la generazione di elettricità e comandati da sistemi posti a livello del suolo oppure sospesi da terra, sostenuti cioè dal kite.

Il generatore che abbiamo realizzato prevede invece una modalità di controllo innovativa in quanto non vi è alcuna distinzione tra le funi di manovra e quelle di potenza. Esiste un'unica coppia di argani che azionano generatori che fungono anche da motori. Nei progetti esistenti, il recupero del kite avviene attraverso gli stessi argani mediante i quali ha luogo la produzione di elettricità ma è attraverso questi stessi argani che noi vogliamo manovrare il profilo alare, non soltanto recuperarlo. L'angolo di attacco del vento e l'area del fronte vento intercettata dal kite sono controllati regolando la lunghezza del tratto di funi srotolato in modo da ottenere la massima erogazione di potenza durante l'ascesa del profilo alare e il minimo consumo energetico durante la fase di recupero.

3. Percorso ottimale descritto dal kite in volo

In alcuni progetti esistenti, il profilo alare è manovrato in modo da generare elettricità sfruttando per lo più la forza di drag (ossia la componente della spinta eolica parallela alla velocità del vento).

In altri progetti, il ciclo di funzionamento del kite è caratterizzato dalla continua alternanza di un'ascensione che avviene sfruttando la forza di lift (ossia la componente della spinta eolica perpendicolare alla velocità del vento) e una discesa che ha luogo minimizzando tale forza.

Il generatore è dotato di un sistema di controllo intelligente che, elaborando in tempo reale le informazioni provenienti dai sensori montati sul kite e dalla sensoristica di terra, manovra il profilo alare in modo da ascendere sfruttando perlopiù la forza di lift. L'innovazione consiste nel fatto che il percorso descritto dal kite ad ogni ciclo è ottimale in termini di energia meccanica che può essere sottratta al vento. Mentre cioè nei dispositivi esistenti l'attenzione è stata focalizzata esclusivamente sulla possibilità di produrre elettricità con continuità, mediante un processo ciclico, noi siamo andati oltre, facendo compiere al profilo alare ad ogni ciclo il percorso che consenta di ottimizzare l'energia sottraibile al vento.

In particolare, il sistema di controllo manovra il kite in modo da ascendere sfruttando prevalentemente la forza di lift e descrivendo percorsi (ad esempio una serie di otto) in modo da intercettare il massimo volume d'aria. Il sistema di controllo garantisce dunque non soltanto continuità nella produzione di elettricità ma anche l'ottimizzazione dell'energia ottenibile a ciclo a parità di dimensione del kite.

Appendice 2 - LIFT FORCE E DRAG FORCE

Di seguito riportiamo alcune considerazioni sull'aerodinamica del sistema.

Quando una corrente eolica incontra una superficie aerodinamica (in inglese airfoil) stazionaria, tale corrente genera due forze: la drag force parallela alla direzione in cui soffia il vento e la lift force perpendicolare a tale direzione. Per comprendere ciò, possiamo far riferimento alla figura riportata di seguito.

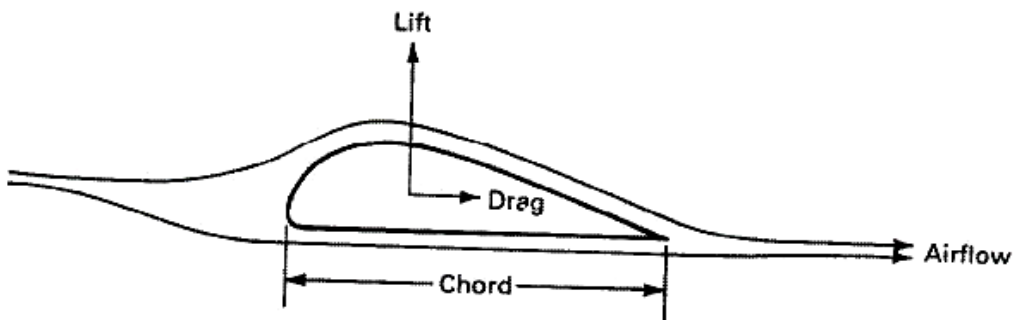


Figura 5: Lift force e drag force su una superficie aerodinamica stazionaria.

Nel caso di flusso laminare del vento, le correnti eoliche che passano al di sopra della superficie aerodinamica sono più rapide di quelle che passano al di sotto di essa in quanto devono percorrere una distanza maggiore. Ciò determina una diminuzione della pressione nella parte superiore del profilo e dunque un gradiente di pressione che dà luogo alla lift force.

Supponiamo che il profilo possa muoversi nella direzione della lift force. Per effetto di tale moto, la superficie inferiore del profilo aerodinamico si inclina rispetto alla velocità del vento.

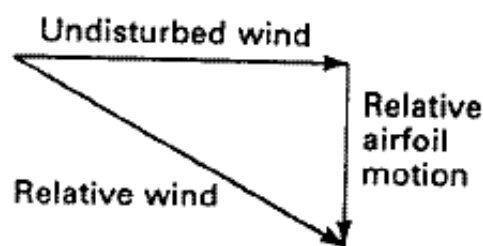


Figura 6: Triangolo di velocità.

In tal caso, non considerando più stazionario il profilo aerodinamico, lift force e drag force sono rispettivamente perpendicolare e parallela alla velocità relativa del vento rispetto al profilo.

Come è possibile osservare nella seguente immagine, indicando con F_1 la forza parallela alla direzione del moto e con F_2 la forza perpendicolare a tale direzione, la componente della lift force parallela alla direzione del moto è equiversa alla traslazione del profilo aerodinamico, mentre la componente parallela della drag force ha verso opposto.

Per questo motivo, ai fini del mantenimento del moto in direzione perpendicolare alle correnti eoliche, è opportuno inclinare il profilo in modo da ottenere un elevato rapporto tra la componente della lift force nella direzione del moto del profilo rispetto alla componente della drag force.

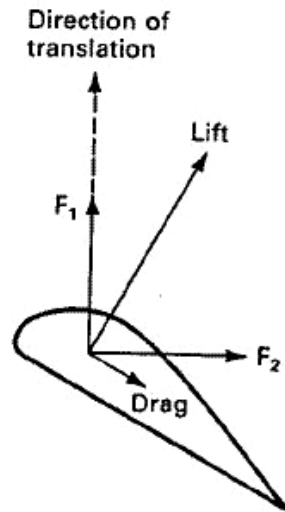


Figura 7: Lift force e drag force su una superficie aerodinamica non stazionaria.

Queste considerazioni valgono anche per il kite del MobileGen.

Il sistema di controllo intelligente manovra infatti il profilo alare in modo da mantenere elevato il rapporto tra *lift force* e *drag force*. In tal modo il kite oscilla spazzolando il fronte vento e generando potenza grazie al tire delle funi.